



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 36 620 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
G 02 B 5/20
G 02 B 1/10

②① Aktenzeichen: 101 36 620.5
②② Anmeldetag: 19. 7. 2001
④③ Offenlegungstag: 6. 2. 2003

DE 101 36 620 A 1

⑦① Anmelder:
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

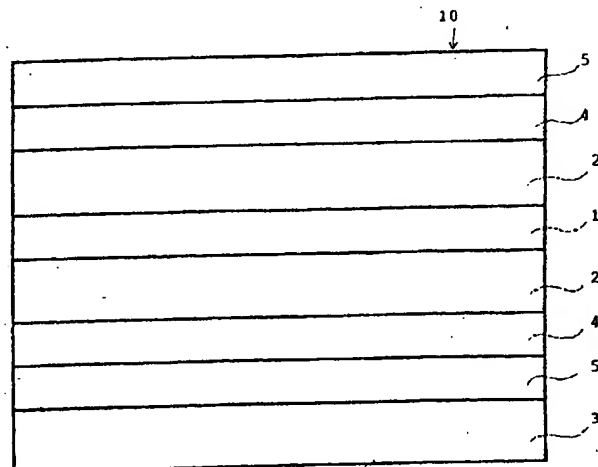
⑦④ Vertreter:
Fuchs, Mehler, Weiss & Fritzsche, 65189 Wiesbaden

⑦② Erfinder:
Wedowski, Marco, Dr., 73431 Aalen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ **Schmalbandiger Spektralfilter und seine Verwendung**

⑤⑦ Um die Strahlenbelastung optischer Elemente beim Einsatz von extrem ultravioletten Licht zu verringern, soll ein optischer Filter 10 bereitgestellt werden, der einfach im Aufbau ist und ein Wellenlängenband bestimmter Breite vorselektiert. Dies wird durch einen optischen Filter 10 erreicht, der aus mindestens einer zwischen zwei Siliziumschichten 2 angeordnete Niob- oder Molybdänschicht 1 besteht, erreicht. Zur Erhöhung der mechanischen Stabilität und der Lebensdauer und zur weiteren Einengung der spektralen Charakteristik können sich noch jeweils zwei Ruthenium- oder Rhodiumschichten an die Siliziumschichten anschließen. Derartige Filter 10 werden insbesondere in Beleuchtungssystemen und Projektionsbelichtungsanlagen für extrem ultraviolettes Licht verwendet, die der Halbleiterlithographie dienen.



DE 101 36 620 A 1



[0001] Die Erfindung betrifft einen optischen Filter für den extrem ultravioletten Wellenlängenbereich und seine Verwendung.

[0002] Extrem ultraviolettes Licht (EUV-Licht) wird in Zukunft verstärkt in der Großserienlithographie zur Herstellung von Halbleiterstrukturen und -bauteilen mit Strukturgrößen unterhalb 70 nm verwendet werden. Dazu wird insbesondere Strahlung einer Wellenlänge um 13 nm verwendet werden. Für den Betrieb entsprechender Produktionssysteme werden schmalbandige Spektralfilter mit ausreichender Lebensdauer benötigt werden. Sie sind notwendig, da alle bisher bekannten Quellen extrem ultravioletten Lichts einen sehr geringen Wirkungsgrad haben, der sich zum einen in einer hohen Wärmelast und Debris äußert und zum anderen in einem großen unerwünschten Strahlungsanteil außerhalb des für die Lithographie mit extrem ultraviolettem Licht benötigten Strahlungsbandes. Unter Debris wird dabei jegliches Material, z. B. Keramiken oder Metalle verstanden, das durch den hohen Energieeintrag zur Erzeugung des extrem ultravioletten Lichtes fein zerstäubt wird und sich auf den optischen Elementen und beispielsweise in der Lithographiekammer als Schicht niederschlägt. Durch Verwendung eines Filters als Abtrennung zwischen der Strahlungsquelle und der Lithographievorrichtung kann der Debris aus der Lithographievorrichtung herausgehalten werden. Es muß lediglich das Filter ausgewechselt werden, wenn sich soviel Debris auf dem Filter abgelagert hat, dass die Transmission nicht mehr hinreichend ist.

[0003] Optische Filter für den infraroten, den sichtbaren und auch den ultravioletten Wellenlängenbereich sind seit langem bekannt. In der Regel werden dazu transparente Substrate mit einer Schicht versehen, die einen wellenlängenabhängigen Transmissionsgrad aufweist, d. h. bei der die Transmission beginnend bei einer bestimmten Wellenlänge steil ansteigt bzw. steil abfällt. Schichten mit solchen Transmissionskanten werden vielfältig als optische Tiefpaßfilterschichten verwendet, da sie nur Licht ab einer bestimmten Wellenlänge oder innerhalb eines bestimmten Wellenlängenbereiches hindurchlassen.

[0004] Gerade für den ultravioletten Wellenlängenbereich sind diverse Filter bekannt, die beispielsweise in Sonnenbrillen oder in Sonnenbänken Verwendung finden.

[0005] So ist z. B. aus der EP 0 267 655 A2 ein Filter aus Kunststoffolie mit UV-absorbierenden Pigmenten bekannt, die bei 320 bis 400 nm transparent ist und bei 290 bis 320 nm absorbiert, so dass nur die relativ unschädliche UVA-Strahlung durchgelassen wird.

[0006] Aus der US 5,182,670 ist ein Schmalbandfilter für ultraviolettes Licht bekannt, das aus mindestens zwei $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$ -Schichten mit unterschiedlichem Aluminiumgehalt und beliebiger Dicke besteht. Durch die Variation des Aluminiumgehaltes ändert sich die Bandlücke dieses Halbleiters und damit die Wellenlänge des transmittierten Lichtes im Bereich von 270 bis 365 nm. Durch die Kombination von mindestens zwei Schichten können beliebige Transmissionen bzw. Reflexionen eingestellt werden.

[0007] Bei dem Tiefpaßfilter für den UV-Bereich, der in der US 5,978,134 beschrieben wird, wird die Plasmonenfrequenz von Metall als Grenzfrequenz für die Reflexion genutzt. Dazu werden vor allen Dingen Erdalkali- oder Alkalimetalle eingesetzt. Zusätzlich kann auf dem Tiefpaßfilter ein Interferenzsystem aus MgO oder Al_2O_3 und MgF_2 oder auch Al_2O_3 und SiO_2 aufgebracht sein.

[0008] Die DE 44 10 275 A1 offenbart ein Dünnschichtbandpaßfilter für den ultravioletten Wellenlängenbereich, der bei 320 bis 430 nm transparent ist. Die Filterkante wird

durch eine Absorptionskante des Materials einer Dünnschicht realisiert und deren spektrale Lage durch Einstellung der Zusammensetzung des Materials der Dünnschicht festgelegt. Dabei ergibt eine Komponente des Materials eine Absorptionskante oberhalb der gewünschten spektralen Lage und die andere Komponente eine Absorptionskante unterhalb der gewünschten spektralen Lage. Bevorzugte Materialien sind Oxide, Fluoride, Sulfide und Oxinitride von Metallen, insbesondere Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , TaO_xN_y , HfO_xN_y , ZrO_xN_y , TiO_2 und ZnS . Ganz besonders bevorzugt werden $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ Einzelschichten einer Dicke zwischen 53,8 nm und 85 nm auf 53 bis 138 nm dicken SiO_2 -Schichten. Diese Schichtsysteme weisen Wiederholraten zwischen 1 und 5 auf, um zusätzlich Interferenzeffekte ausnützen zu können.

[0009] Im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich wird mit reflektierenden Viellagensystemen, insbesondere aus Molybdän- und Siliziumlagen gearbeitet. Diese haben den Nachteil, dass sie in ihrer Herstellung sehr aufwendig und kostenintensiv sind. Daher müssen solche Spiegel zur Verminderung der Strahlungslast und damit der Erhöhung der Lebensdauer gegen unerwünschte spektrale Anteile geschützt werden. Verschärft wird diese Anforderung dadurch, dass die Spiegel Strahlung mit Photonenenergien < 10 eV mit unerwünscht hoher Effizienz reflektieren. Außerdem führt auch die Verunreinigung durch Debris in kürzester Zeit dazu, dass der Spiegel nicht mehr einsetzbar ist. Dadurch werden sehr hohe Kosten und Stillstandzeiten verursacht, die bei einem Einsatz der EUV-Lithographie für die Massenproduktion nicht tragbar sind.

[0010] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen optischen Filter bereitzustellen, der einfach im Aufbau ist und bei Einsatz in EUV-Strahlungsquellen vor weiteren optischen Elementen, wie beispielsweise Spiegeln, ein Wellenlängenband bestimmter Breite vorselektiert. Ferner ist es Aufgabe, Einsatzbereiche für einen derartigen Filter aufzuzeigen.

[0011] Diese Aufgabe wird gelöst durch einen optischen Filter für den extremen ultravioletten Wellenlängenbereich, der sich dadurch auszeichnet, dass er mindestens aus einer zwischen zwei Siliziumschichten angeordnete Niob- oder Molybdänschicht aufweist. Außerdem wird die Aufgabe durch Verwendungen gemäß Anspruch 19 und Anspruch 20 gelöst.

[0012] Zur Erreichung einer maximalen Transmission im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich, insbesondere in einem Energieband um 92 eV und maximaler Absorption außerhalb dieses Bandes werden die Filtereigenschaften der Materialien Niob oder Molybdän und Silizium kombiniert. Durch die Verwendung von Niob oder Molybdän im Filter wird erreicht, dass die Transmission zu kleineren Photonenenergien stark abnimmt. Durch die Verwendung von Silizium im Filter wird erreicht, dass die Transmission dagegen zu höheren Photonenenergien stark abnimmt.

[0013] Die Siliziumschichten sind vorzugsweise dicker als die Niob- oder Molybdänschicht, damit die Photonen zu höheren Energien hin in vergleichbarem Maße wie zu niedrigen Energien hin absorbiert werden. Da außerdem das Niob oder das Molybdän zwischen zwei Siliziumschichten angeordnet ist, wird die Oxidation des Niobs oder Molybdäns wirksam verhindert, was zu einer höheren Lebensdauer des Filters führt.

[0014] Bemerkenswert ist, dass eine relativ schmale spektrale Charakteristik des optischen Filters erreicht wird, obwohl nur die Absorptionseffekte der Filterschichten genutzt werden. Üblicherweise behilft man sich gerade auch im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich mit Beugungsgittern (Diffraction) oder Viellagenspiegeln (Reflektion) aus



beispielsweise Silizium und Molybdän. Nach der Filterung der Eingangsstrahlung, z. B. der Strahlung einer Synchrotronstrahlungsquelle durch den erfindungsgemäßen Filter steht schmalbandige Strahlung mit hoher Intensität zur Verfügung. Zugunsten höherer Intensität ist die Bandbreite zwar höher als der Bandpaß der nachfolgend angeordneten optischen Elemente, wie z. B. Mo/Si-Spiegel, es findet aber bereits eine Einengung auf den extrem ultravioletten Spektralbereich statt. Insbesondere sind die Anteile im Sichtbaren (VIS), im Ultravioletten (UV) und Tiefultravioletten (DUV) auf nahe Null reduziert.

[0015] Der erfindungsgemäße Filter kann auch als Schutz vor Debris eingesetzt werden. Dazu sollte der erfindungsgemäße Filter z. B. als Abschluß der EUV-Strahlungsquelle angeordnet werden, so dass jeglicher Debris aufgehalten wird und verhindert wird, dass der Debris sich auf den nachfolgenden optischen Elementen ablagert.

[0016] Speziell läßt sich der erfindungsgemäße Filter in Beleuchtungssystemen oder auch Projektionsbelichtungsanlagen für EUV-Licht, insbesondere zur Lithographie für die Halbleiterbauteilproduktion einsetzen. Dabei kann es sich um herkömmliche Systeme, aber auch um neuartige Systeme handeln wie sie z. B. für das Belichtungssystem in der DE 199 48 240.3 oder z. B. für das Projektionssystem in der DE 101 00 265.3 beschrieben sind. Der optische Filter wird vorteilhafterweise an Positionen mit geringem Strahlquerschnitt aber außerhalb von Strahltaillen und Brennpunkten angeordnet. Vorzugsweise dient er neben der spektralen Einengung des Strahls zur vakuumtechnischen Trennung der EUV-Quelle und der Beleuchtungsoptik oder auch der Projektionsoptik und des resistbeschichteten Wafers.

[0017] Da der erfindungsgemäße Filter aus leicht verfügbaren und relativ preiswerten Materialien besteht und ohne großen Aufwand mit üblichen Beschichtungstechniken hergestellt werden kann, da keine besonderen Fertigungstoleranzen einzuhalten sind, ist er für die Anwendung in der Großserienlithographie geeignet.

[0018] Vorteilhafterweise hält man bei der Wahl der Schichtdicken des Niob und des Siliziums folgende Beziehung ein:

$$d_{Si} = d_{Nb} \cdot e^{k \cdot d_{Nb}}$$

mit

d_{Si} Siliziumschichtdicke (in nm)

d_{Nb} Niobschichtdicke (in nm)

und $0,006 < k < 0,06$

bzw. für Molybdän und Silizium:

$$d_{Si} = d_{Mo} \cdot e^{k \cdot d_{Mo}}$$

mit

d_{Si} Siliziumschichtdicke (in nm)

d_{Mo} Molybdänschichtdicke (in nm)

und $0,006 < k < 0,06$

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die mindestens drei Schichten selbsttragend. Es hat sich herausgestellt, dass bei den meisten Dicken- zu Breitenverhältnissen der erfindungsgemäßen optischen Filter durch die mindestens drei Schichten eine hinreichende mechanische Stabilität erhält, so dass maximale Abmessungen in der Filterebene, z. B. Durchmesser zwischen 1 cm und 4 cm möglich sind. Für besondere Anwendungen hat es sich aber als vorteilhaft erwiesen, wenn die mindestens drei Schichten auf einer Stützstruktur aufgebracht sind. Dies ist insbesondere wichtig, wenn das Filter außergewöhnlichen mechanischen Belastungen ausgesetzt ist oder Filter mit z. B. großen Durchmessern bzw. Breiten/Längen verlangt werden, bei denen die Erhöhung der Schichtdicken bei vergleichbarer mechanischer Stabilität zu einer höheren Transmissionsver-

minderung führen würde als durch eine Stützstruktur verursacht wird. Besonders bewährt haben sich als Stützstrukturen netzförmige Strukturen aus Nickel. Bei Filtern mit Stützstruktur können maximale Abmessungen in der Ebene zwischen 8 cm und 14 cm erreicht werden.

[0020] Die für die Anwendung in der EUV-Lithographie besten Ergebnisse sowohl hinsichtlich des Transmissionsverlaufes als auch der mechanischen Stabilität wurden mit Siliziumschichten einer Dicke zwischen 50 und 100 nm, bevorzugt 70 und 90 nm sowie einer Niob- oder Molybdänschichtdicke zwischen 10 bis 40 nm, bevorzugt 20 und 30 nm erreicht.

[0021] Für Strahlungsquellen ausgesprochen hoher Brillanz, wie z. B. Synchrotrons, kann es aber auch notwendig sein, Filter einzusetzen, deren Niob- oder Molybdänschicht eine Dicke von einigen 100 nm und deren Siliziumschichten Dicken von mehreren 100 nm aufweisen.

[0022] Es kann von Vorteil sein, wenn der optische Filter auf mindestens einer Seite mindestens eine weitere Schicht aufweist, die Schutzfunktion hat, ohne wesentlichen Einfluß auf die Transmission des optischen Filters zu haben. Diese Schutzschichten können sich z. B. durch Ablagerungen von insbesondere Kohlenstoff und Sauerstoff aus der Atmosphäre bilden, wobei der Sauerstoff in der Regel die Filteroberflächen oxidiert und die Lebensdauer des optischen Filters verlängern. Die Schutzschichten können auch gezielt auf dem optischen Filter aufgebracht sein. Dabei sind Schichtdicken zwischen 1 nm und 100 nm zu empfehlen. Es besteht die Möglichkeit, alle bekannten Methoden der Vermeidung von Kontamination von Siliziumschichten auch an dem optischen Filter anzuwenden. Dadurch wären Lebensdauer von > 10000 h zu erwarten.

[0023] Besonders bevorzugt werden optische Filter, die auf mindestens einer Seite des Filters eine Rutheniumschicht oder eine Rhodiumschicht aufweisen. Vorteilhafterweise weisen diese Schichten eine Dicke zwischen 1 nm bis 50 nm, vorzugsweise 1 bis 20 nm, auf. Durch diese Schutzschichten wird nicht nur die mechanische Stabilität des Filters erhöht, sondern auch die Lebensdauer des Filters bei Bestrahlung mit insbesondere extrem ultravioletter Strahlung erhöht, da insbesondere die Oxidation durch Sauerstoff unterbunden wird. Sowohl die Ruthenium- als auch die Rhodiumschichten wirken sich außerdem auf die spektrale Charakteristik des Filters aus, indem durch sie der spektrale Bereich zwischen ca. 50 eV und 80 eV unterdrückt wird. Dies führt zu einer schmaleren spektralen Charakteristik des Filters. Allerdings verschlechtert sich die Transmission des Filters.

[0024] Es hat sich auch als vorteilhaft herausgestellt, wenn der Filter auf mindestens einer Seite eine Schutzschicht aus Kohlenstoff aufweist. Vorzugsweise hat sie eine Dicke zwischen 1 nm und 50 nm. Sie kann gezielt während der Herstellung des optischen Filters beispielsweise als äußerste Schicht aufgebracht werden. Auch die mindestens eine Kohlenstoffschicht erhöht sowohl die mechanische Stabilität als auch die Lebensdauer des Filters und verhindert die Oxidation der Filteroberflächen durch Sauerstoff aus der Atmosphäre.

[0025] Ob der Filter nur auf einer oder auf beiden Seiten eine Ruthenium-, Rhodium- oder Kohlenstoffschicht aufweist, entscheidet sich danach, in welcher Umgebung der Filter eingesetzt wird und welchen Einflüssen die jeweilige Seite ausgesetzt ist.

[0026] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, zwischen der Rutheniumschicht- oder Rhodiumschicht und der Siliziumschicht eine Schicht aus einer Verbindung, die Bor, Kohlenstoff, Stickstoff oder Sauerstoff einzeln oder in Kombination enthält, als Diffusionsbarriere vorzusehen. Diese Diffu-



sionsbarriere dient dazu, die Diffusion des Siliziums in die Ruthenium- bzw. Rhodiumschicht zu verhindern, die dort zu einer Ruthenium- bzw. Rhodium-Siliziumlegierung verändert wird, wodurch die Filtereigenschaften und die Lebensdauer des optischen Filters beeinträchtigt werden könnten. Da die vorgeschlagenen Diffusionsbarrieren-Materialien im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich nicht nennenswert absorbieren, ist ihre Wirkung auf die spektrale Charakteristik des Filters vernachlässigbar.

[0027] Die Materialien Stickstoff und Sauerstoff können dadurch aufgebracht werden, daß der Filter vor dem Aufbringen der Schutzschicht über eine vorgegebene Zeit einem entsprechenden Gas, beispielsweise einer Stickstoff-Sauerstoffatmosphäre ausgesetzt wird.

[0028] Wenn die Siliziumschicht kurzzeitig an die Atmosphäre gebracht wird, bildet sich eine Siliziumdioxidschicht aus, deren Dicke maximal 15 Angström beträgt. Über die Zeitdauer, die die Siliziumschicht der Atmosphäre ausgesetzt wird, kann die Dicke im Bereich zwischen 1 und 15 Angström, bevorzugt zwischen 5 und 10 Angström Dicke eingestellt werden. Der Vorteil der Siliziumdioxidschicht besteht darin, daß die Herstellung im Vergleich zu dem Aufbringen anderer Materialien deutlich vereinfacht und kostengünstiger ist.

[0029] Vorzugsweise weisen die Diffusionsbarrieren eine Dicke zwischen 1 und 50 nm, vorzugsweise zwischen 1 und 10 nm auf. Dadurch wird auch die mechanische Stabilität des Filters weiter erhöht.

[0030] Durch eine Gasfüllung der Umgebung der optischen EUV-Komponenten mit Ar und/oder Kr ist eine weitere Verbesserung der Filterwirkung der erfindungsgemäßen Filter möglich. Der Fülldruck liegt vorzugsweise bei 0,1 bis 10^{-8} Torr.

[0031] Als allgemeine Schichtfolge ergibt sich (mit Alternativen in runden Klammern): (Ar, Kr)/(Ru, Rh)/Si/(Nb, Mo)/Si/(Ru, Rh)/(Ar, Kr) mit (B, C, N, O) an den Grenzflächen. Je nach Anwendung können einzelne oder auch mehrere der genannten Komponenten weggelassen oder können auch vertauscht werden. Optimale Filterwirkung und Lebensdauer wird aber besonders durch die geeignete Kombination möglichst vieler Komponenten in obiger Reihenfolge erreicht.

[0032] Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Dazu zeigen

[0033] Fig. 1a, b, c, d die spektralen Charakteristika der Einzelschichten und der daraus zusammengesetzten Filter;

[0034] Fig. 2a die spektralen Charakteristika eines Filters ohne Stützstruktur und mit Stützstruktur;

[0035] Fig. 2b die spektrale Charakteristika eines Filters mit Rhodiumbeschichtung;

[0036] Fig. 3a, b die Wirkung verschiedener Filter bei Anordnung an einer Synchrotronstrahlungsquelle;

[0037] Fig. 4a, b den Aufbau verschiedener Filter; und

[0038] Fig. 5 ein optisches System mit Filter.

[0039] Es wurden erste Testfilter hergestellt, die aus einer 28,6 nm dicken Zirkonschicht (stellvertretend für eine Niob- bzw. Molybdänschicht) bestehen, die zwischen einer 81,5 nm und einer 82,1 nm dicken Siliziumschicht angeordnet ist. Beim Kontakt mit der Atmosphäre lagern sich auf beiden Filterseiten ca. 1,5 nm dicke Sauerstoffschichten sowie 0,5 nm dicke Kohlenstoffschichten ab, wobei der Sauerstoff mit dem Silizium zu Siliziumoxid reagiert. Da die Zirkonschicht (stellvertretend für eine Niob- bzw. Molybdänschicht) von den Siliziumschichten eingeschlossen ist, wird sie von dem abgelagerten Sauerstoff nicht oxidiert. Die Filter haben einen Durchmesser von 5 mm und sind mechanisch so stabil, dass mehrere Transporte per Post und die mehrfache Handhabung in verschiedenen Laboren schadlos

überstanden wurden.

[0040] Es wurden auch weitere Testfilter hergestellt, die zusätzlich zu den Silizium- und Zirkonschichten (stellvertretend für die Niob- oder Molybdänschichten) der ersten Testfilter auf den Außenseiten beider Siliziumschichten jeweils eine Rhodiumschicht einer Dicke von 5 nm aufweisen. Bei Kontakt mit der Atmosphäre lagern sich wegen der geringen Oxidation von Rhodium auf beiden Seiten lediglich Kohlenstoffschichten einer Dicke von etwa 0,5 nm ab.

[0041] Da Untersuchungen gezeigt haben, dass die optischen Eigenschaften von Rhodium und Ruthenium im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich, insbesondere um 92 eV sehr ähnlich sind, wurde stellvertretend ein Testfilter mit Rhodiumschichten gewählt. Die diesbezüglichen Ausführungen gelten auch für Filter mit Rutheniumschichten.

[0042] In Fig. 1a ist die spektrale Charakteristik der Einzelmaterialien Silizium, Niob, Sauerstoff und Kohlenstoff in den oben angegebenen Dicken gezeigt. Außerdem ist die spektrale Charakteristik des sich daraus ergebenden Filters dargestellt. Wie in Fig. 1a zu erkennen ist, nimmt die Transmission von Niob ab ca. 70 eV zu kleineren Photonenenergien hin stark ab. Die Transmission von Silizium nimmt dagegen von 98 eV zu höheren Photonenenergien hin stark ab. Die Transmission der Sauerstoffschicht ist in dem relevanten Bereich um 92 eV (entspricht 13 nm) annähernd konstant. Dass der Sauerstoff das Silizium oxidiert, hat auf die Transmission keinen Einfluss; es kommt lediglich auf die Anzahl der vorhandenen Atome an. Die Transmission der Kohlenstoffschicht ist in erster Näherung konstant gleich 1. Der spektrale Einfluß sowohl der dünnen, natürlichen Sauerstoff- als auch Kohlenstoffschicht ist also sehr gering. Diese Schichten wirken sich aber positiv auf die Lebensdauer des optischen Filters sowohl an der Atmosphäre als auch im Vakuum unter EUV-Bestrahlung aus. Der Filter führt dazu, dass für das Energieband um 92 eV eine Transmission von mehr als 60% vorhanden ist. Unterhalb von 50 eV und oberhalb von 100 eV liegt die Transmission deutlich unter 10%. Erst oberhalb von 250 eV steigt die Transmission wieder auf über 10% an. Da aber keine der heute bekannten Quellen, die für die Verwendung als Lichtquelle für die EUV-Lithographie in Frage kommen, in diesem Energiebereich nennenswerte Flüsse aufweist, ist dies von untergeordneter Bedeutung.

[0043] In der Fig. 1b ist die spektrale Charakteristik der Einzelmaterialien Silizium, Molybdän, Sauerstoff und Kohlenstoff in den oben angegebenen Dicken hergestellt. Außerdem ist die spektrale Charakteristik des sich daraus ergebenden Filters dargestellt. Wie Fig. 1b zu entnehmen ist, nimmt die Transmission von Molybdän ab ca. 70 eV zu kleineren Photonenenergien hin stark ab. Die Transmission von Silizium nimmt dagegen von 98 eV zu höheren Photonenenergien hin stark ab. Die Transmission der Sauerstoffschicht ist in dem relevanten Bereich um 92 eV (entspricht 13 nm) annähernd konstant. Daß der Sauerstoff das Silizium oxidiert, hat auf die Transmission keinen Einfluß; es kommt lediglich auf die Anzahl der vorhandenen Atome an. Die Transmission der Kohlenstoffschicht ist in erster Näherung konstant gleich 1. Der spektrale Einfluß sowohl der dünnen, natürlichen Sauerstoff als auch Kohlenstoffschicht ist also sehr gering. Diese Schichten wirken sich aber positiv auf die Lebensdauer des optischen Filters sowohl an der Atmosphäre als auch im Vakuum unter EUV-Bestrahlung aus. Der Filter führt dazu, daß für das Energieband um 92 eV eine Transmission von mehr als 60% vorhanden ist. Unterhalb von 50 eV und oberhalb von 100 eV liegt die Transmission deutlich unter 10%. Erst oberhalb von 200 eV steigt die Transmission wieder auf über 10% an. Da aber keine der heute bekannten Quellen, die für die Verwendung als Licht-



quelle für die EUV-Lithographie in Frage kommen, in diesem Energiebereich nennenswerte Flüsse aufweist, ist dies von untergeordneter Bedeutung.

[0044] In den Fig. 1c und d ist jeweils die spektrale Charakteristik von Rhodium mit aufgetragen und außerdem die spektrale Charakteristik des sich daraus ergebenden Filters. Wegen der geringen Oxidation des Rutheniums bildet sich auf der Filteroberfläche nur eine Kohlenstoffschicht. Um den Preis einer reduzierten Transmission, die im Maximum etwa 55% beträgt, erhält man eine schmalere spektrale Charakteristik. Die Transmission im Bereich zwischen 50 eV und 80 eV ist gegenüber dem ersten Testfilter deutlich reduziert.

[0045] In Fig. 2a sind die spektralen Charakteristika für Filter ohne Stützstruktur und Filter mit Stützstruktur dargestellt. Dabei werden auch die theoretisch berechneten Werte mit experimentell gemessenen Werten verglichen. Bei der Stützstruktur handelt es sich um eine netzförmige Stützstruktur aus Nickel, deren Netzweite 70 Linien/Zoll entspricht. Die Erhöhung der mechanischen Stabilität, die durch die netzförmige Stützstruktur erreicht wird, geht mit einem Verlust von 20% der Transmission gegen über Filtern ohne Stützstruktur einher.

[0046] Zum Vergleich ist in Fig. 2b die spektrale Charakteristik eines Filters mit Rhodiumbeschichtung zur Vermeidung der Oxidation an der Oberfläche dargestellt.

[0047] In Fig. 3a ist zum einen die spektrale Charakteristik der Strahlung eines Dipolmagneten an der Elektronenspeicherringanlage BESSY II sowie die spektrale Charakteristik der Strahlung des Dipolmagneten nach Reflexion an einem Rhodium-beschichteten Spiegel unter einem Ablenkungswinkel von 10° dargestellt. Die aufgetragene Intensität wurde auf die maximale Intensität der Strahlung des Dipolmagneten nach Reflexion an dem Rhodium-beschichteten Spiegel normiert. Ordnet man hinter einem Dipolmagneten und einem Rhodiumspiegel einen wie oben beschriebenen Filter an, erhält man ein Intensitätsmaximum bei ca. 92 eV mit einer Halbwertsbreite von ca. 25 eV. In Fig. 3b ist statt der spektralen Charakteristik der ersten Testfilter die spektrale Charakteristik der zweiten Testfilter dargestellt. Die Halbwertsbreite beträgt in diesem Falle nur noch ca. 15 eV. Die Strahlung hinter den Testfiltern eignet sich sehr gut als Eingangsstrahlung für die optischen Elemente eines EUV-Lithographiesystems.

[0048] Bei einem Lebensdauertest führte eine EUV-Bestrahlung mit 1 W/cm² über 8 Stunden in einem Vakuum von 10⁻⁸ mbar bei beiden Filtern zu keiner meßbaren Veränderung. Bei Lagerung in der Atmosphäre war über zwei Monate keine Veränderung der Transmissionseigenschaften feststellbar.

[0049] In Fig. 4a ist der schematische Aufbau eines Filters 10 im Einsatz dargestellt. Auf beiden Seiten einer 10 bis 40 nm dicken Niobschicht 1 sind 50 bis 100 nm dicke Siliziumschichten 2 angeordnet. Auf beiden Seiten haben sich 1 bis 2 nm dicke Oxidschichten 4 und 0,5 bis 1,5 nm dicke Kohlenstoffschichten 5 abgelagert, die auf das Transmissionsverhalten des Filters 10 keinen entscheidenden Einfluß haben. Zur mechanischen Stabilisierung ist das Gesamtsystem auf einem Nickelnetz 3 angeordnet.

[0050] In Fig. 4b ist der Aufbau eines weiteren Filters 10 im Ansatz dargestellt. Die Niobschicht 1 und die beiden Siliziumschichten 2 weisen auf beiden Seiten des Filters 10 jeweils eine 1 bis 50 nm (vorzugsweise 1 bis 20 nm) dicke Rhodiumschicht 6 auf, auf die sich an der Atmosphäre 0,5 bis 1,5 nm dicke Kohlenstoffschichten 5 ablageren. Fakultativ können zwischen den Rhodiumschichten 6 und den Siliziumschichten 2 Diffusionsbarrieren aus Verbindungen, die Bor, Kohlenstoff, Stickstoff und/oder Sauerstoff einzeln

oder in Kombination enthalten, mit einer Dicke zwischen 1 bis 50 nm (vorzugsweise 1 bis 10 nm) vorgesehen werden. Durch die Rhodiumschichten 6 werden nicht nur die mechanische Stabilität und die Lebensdauer erhöht, sondern auch die spektrale Charakteristik des Filters 10 verbessert. Zur mechanischen Stabilisierung ist das Gesamtsystem auf einem Nickelnetz 3 angeordnet.

[0051] Anstatt eines freistehenden Filtersystems können die Materialien auch direkt auf EUV-Komponenten aufgebracht werden. Dabei kann die Symmetrie der Schichtenanordnung um die Mittelebene aufgegeben werden.

[0052] Statt einer Rhodiumschicht 6 könnte während des Herstellungsprozesses auch direkt auf die Siliziumschichten 2 eine Kohlenstoffschicht 6 einer Dicke zwischen 1 nm und 50 nm aufgebracht werden, auf die sich ggf. an der Atmosphäre eine weitere Kohlenstoffschicht 5 vernachlässigbarer Dicke ablageren würde.

[0053] Aktuelle Experimente haben ergeben, dass der Einbau des beschriebenen Filters in den Strahlengang einer Synchrotron-Strahlungsquelle zu einer Erhöhung der Lebensdauer dahinter angeordneter Viellagenspiegel bis zu einem Faktor 5 führt.

[0054] Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung ist es also gelungen, ein schmalbandiges Spektralfilter insbesondere für EUV-Anwendungen bereitzustellen, das sowohl über eine geeignete spektrale Charakteristik als auch über eine hohe Lebensdauer unter Betriebsbedingungen sowie an der Atmosphäre als auch eine hohe mechanische Stabilität verfügt. Außerdem eignet es sich als Schutz vor Debris für nachfolgende optische Elemente. Wegen seiner herausragenden Eigenschaften und seiner Wirtschaftlichkeit eignet es sich insbesondere auch für den Einsatz in der Großserienlithographie mit extrem ultravioletem Licht.

[0055] Die Fig. 5 zeigt eine Projektionsbelichtungsanlage 1 mit einer Lichtquelle 8, einem Beleuchtungssystem 2, das sich aus den optischen Elementen 6a-f zusammensetzt, einem Retikel 4, einem Projektionsobjektiv 3, das sich aus den optischen Elementen 7a-7f zusammensetzt, und einen Wafer 5. Das Beleuchtungssystem 2 ist genauer in der DE 101 22 265.3 beschrieben. Das Projektionsobjektiv ist in der DE 199 48 240.3 näher beschrieben. Als Lichtquelle 8 wird eine Laser-Plasmaquelle bzw. eine Pinch-Plasmaquelle verwendet. Das Licht der Lichtquelle 8 wird von einer Kollektoreinheit, die Ellipsoidspiegel 6a ausgestaltet ist, auf eine sekundäre Lichtquelle 8a abgebildet. Danach passiert das Licht einen reflektiven Wabenkondensor aus den Spiegeln 6d und 6c. Die nachfolgende Feldlinse mit den Spiegeln 6d, 6e und 6f beleuchtet das Retikel 4 mit einem Ringfeld und paßt die Austrittspupille des Beleuchtungssystems an die Eintrittspupille des Projektionsobjektives 3 an. Das Projektionsobjektiv 3 bildet den beleuchteten Teil des Retikels 4 auf dem Wafer 5, einem mit einer lichtempfindlichen Schicht, auch Resist genannt versehenen Substrat, ab. Dazu wird der Lichtstrahl an den Spiegel 7a bis 7f reflektiert. Das Projektionsobjektiv 3 weist dabei eine Zwischenabbildung 8b auf. Die optische Achse des Projektionsobjektives 3 ist durch die strichpunktierte Linie angedeutet.

[0056] Mit 9a bis d sind Positionen eingezeichnet, an denen das erfindungsgemäße Filter, angedeutet durch einen Strich mit zwei Querbalken, angeordnet werden kann. Diese Positionen sind lediglich als Beispiele zu verstehen. Sinnvollerweise sind die Filter an Stellen angeordnet, an denen der Strahlquerschnitt relativ gering ist, aber außerhalb von Strahltaillen und Brennpunkten: Der Filter kann wie z. B. an der Stelle 9a als vakuumtechnische Trennung zwischen der Strahlquelle und der Optik dienen. Er kann auch, wie beispielsweise an der Stelle 9d als vakuumtechnische Trennung zwischen der Optik und dem resistbeschichteten Wafer 5



dienen. Durch die mit A und B bezeichneten Pfeile sind die Abmessungen der Projektionsbelichtungsanlage 1 angedeutet. A beträgt einen Meter, B beträgt knapp 1,50 m. Die optischen Elemente haben Durchmesser von ca. 30 cm. Üblicherweise wird man nur einen Filter im Strahlengang anordnen. Bei Filtern mit sehr guter Transmission wird man auch in Erwägung ziehen, zwei oder mehr Filter im Strahlengang anzuordnen.

[0057] In der EUV-Projektionslithographie ist es besonders vorteilhaft, nach der Quelleinheit Mittel zur spektralen Einengung der verwendeten EUV-Strahlung einzusetzen. Diese Mittel können Absorptionsfilter wie der zuvor beschriebene Niob oder Molybdän-Silizium-Filter oder eine Kombination aus Beugungsgitter und einer Strahlfalle sein. Denkbar sind auch alle anderen Elemente, mit denen das Wellenlängenspektrum der Quellstrahlung auf den Nutzbereich um 92 eV eingeeignet wird. Die Mittel zur spektralen Einengung sollten den Spektralbereich unter 50 eV und über 100 eV herausfiltern, bzw. die Transmission in diesen Wellenlängenbereichen vorzugsweise auf kleiner 10% der maximalen Intensität reduzieren. Durch den Niob oder Molybdän-Silizium-Filter werden insbesondere die UV- und DUV-Strahlung nahezu vollständig herausgefiltert. Photoinduzierte Effekte, wie beispielsweise Photochemie im UV- und DUV-Wellenlängenbereich werden drastisch unterdrückt. Dies ist notwendig, da EUV-Quellen, wie Plasma-Quellen oder Synchrotron-Quellen neben der Strahlung innerhalb des für EUV-Lithographie benötigten Spektralbereiches auch Anteile im sichtbaren Spektralbereich sowie im UV und DUV aufweisen. Durch die spektrale Einengung lassen sich Kontaminationseffekte auf den Spiegeloberflächen der nachfolgenden Elemente der Projektionsbelichtungsanlage durch photoinduzierte Prozesse deutlich reduzieren.

Patentansprüche

1. Optischer Filter, insbesondere für den extremen ultravioletten Wellenlängenbereich, **dadurch gekennzeichnet**, daß er mindestens zwei Siliziumschichten (2) aufweist, zwischen denen mindestens eine Niob- oder Molybdänschicht angeordnet ist.
2. Optischer Filter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliziumschichten dicker als die Niob- oder die Molybdänschicht sind.
3. Optischer Filter, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Niobschicht d_{Nb} $5 \text{ nm} < d_{Nb} < 100 \text{ nm}$ beträgt und die Dicke der Siliziumschicht $d_{Si} = d_{Nb} \cdot e^{k \cdot d_{Nb}}$ mit $0,006 < k < 0,06$ bzw. die Dicke der Molybdänschicht d_{Mo} $5 \text{ nm} < d_{Mo} < 100 \text{ nm}$ beträgt und die Dicke der Siliziumschicht in $d_{Si} = d_{Mo} \cdot e^{k \cdot d_{Mo}}$ mit $0,006 < k < 0,06$ ist.
4. Optischer Filter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliziumschichten (2) eine Dicke zwischen 50 nm und 100 nm aufweisen und die Niob- bzw. Molybdänschicht (1) eine Dicke zwischen 10 und 40 nm aufweist.
5. Optischer Filter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliziumschichten (2) eine Dicke zwischen 70 nm und 90 nm aufweisen und die Niob- bzw. Molybdänschicht (1) eine Dicke zwischen 20 nm und 30 nm aufweist.
6. Optischer Filter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens drei Schichten (1, 3) selbsttragend sind.
7. Optischer Filter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß er in der Filterebene eine maximale Abmessung zwischen 1 cm und 4 cm aufweist.
8. Optischer Filter nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens drei Schichten (1, 2) auf einer Stützstruktur (3) aufgebracht sind.

9. Optischer Filter nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei Stützstruktur (3) um ein Nickelnetz handelt.

10. Optischer Filter nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß er in der Filterebene eine maximale Abmessung zwischen 8 cm und 14 cm aufweist.

11. Optischer Filter nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß sich auf mindestens einer Seite des Filters mindestens eine weitere Schicht (4, 5) mit Schutzfunktion befindet.

12. Optischer Filter nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß er auf mindestens einer Seite eine Rutheniumschicht (6) aufweist.

13. Optischer Filter nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß er auf mindestens einer Seite eine Rhodiumschicht aufweist.

14. Optischer Filter nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Ruthenium- bzw. Rhodiumschicht (6) eine Dicke zwischen 1 nm und 20 nm aufweist.

15. Optischer Filter nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß er auf mindestens einer Seite eine Kohlenstoffschicht (6) aufweist.

16. Optischer Filter nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Kohlenstoffschicht (6) eine Dicke zwischen 1 nm und 50 nm aufweist.

17. Optischer Filter nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß er zwischen der Ruthenium- oder Rhodiumschicht (6) und der Siliziumschicht (2) als Diffusionsbarriere eine Schicht, die Bor, Kohlenstoff, Stickstoff und/oder Sauerstoff in einer Verbindung einzeln oder in Kombination enthält.

18. Optischer Filter nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Diffusionsbarrierschicht eine Dicke zwischen 1 nm und 15 nm aufweist.

19. Verwendung eines optischen Filters nach einem der Ansprüche 1 bis 17 in einem Beleuchtungssystem für extrem ultraviolettes Licht.

20. Verwendung eines optischen Filters nach einem der Ansprüche 1 bis 17 in einer Projektionsbelichtungsanlage für extrem ultraviolettes Licht.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen



Fig. 1a

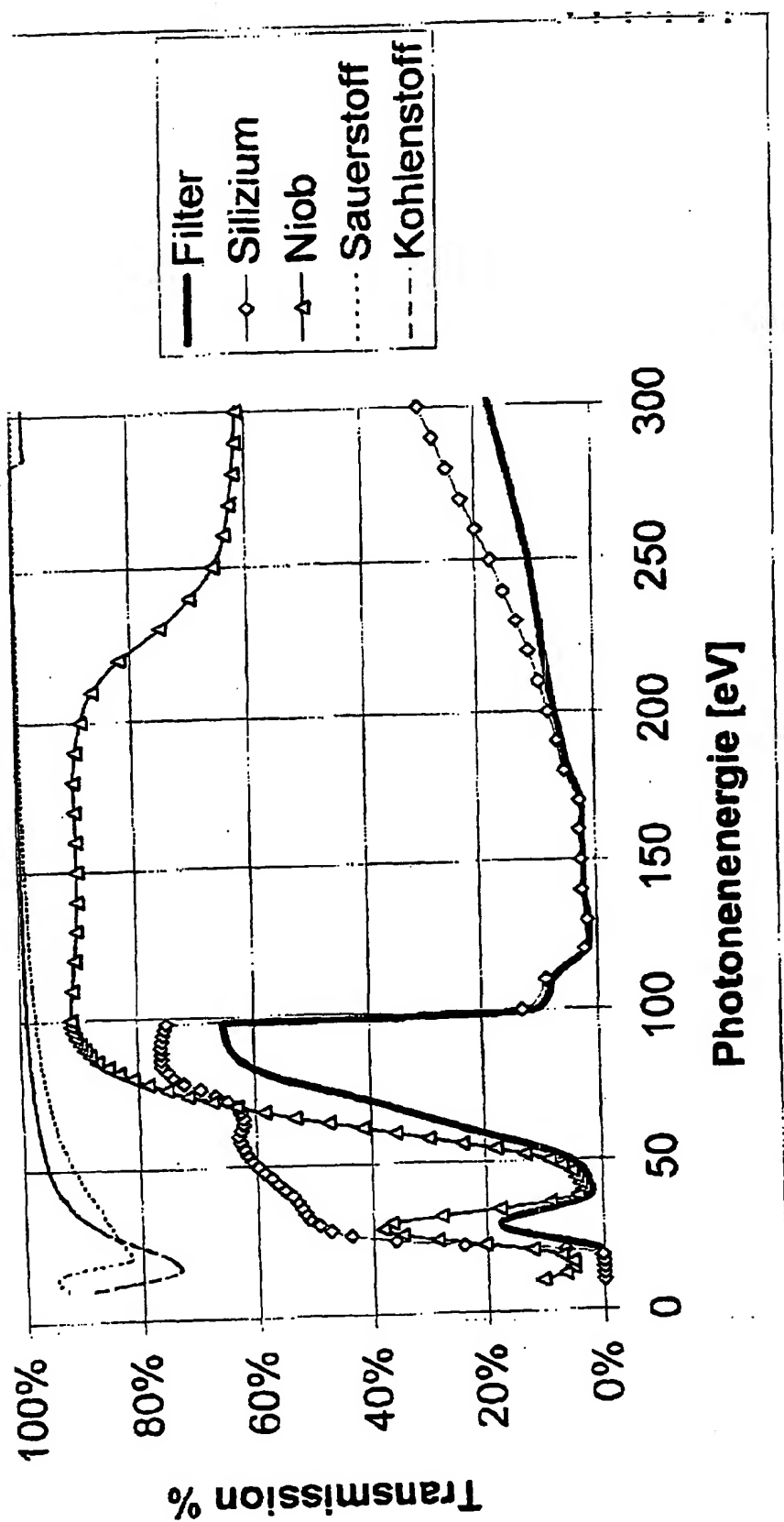


Fig. 1b

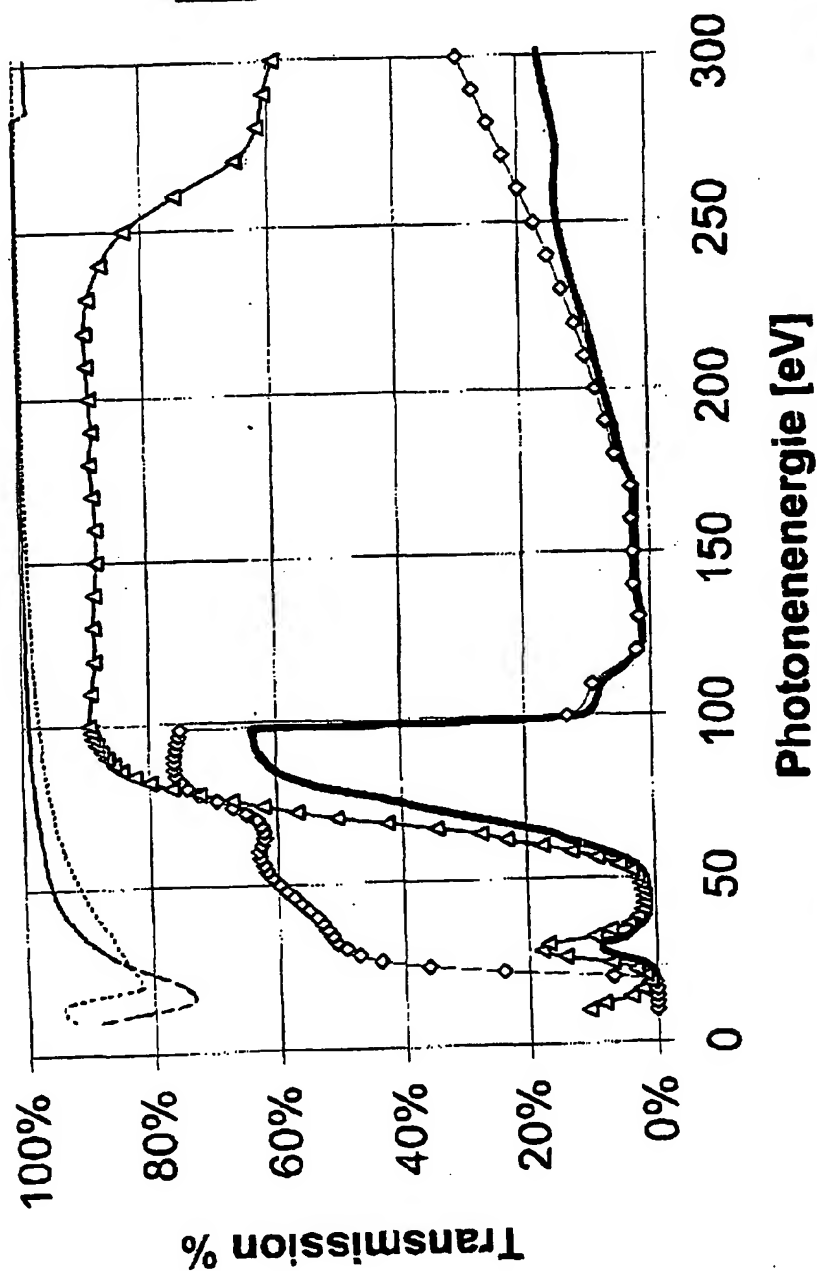


Fig. 1c

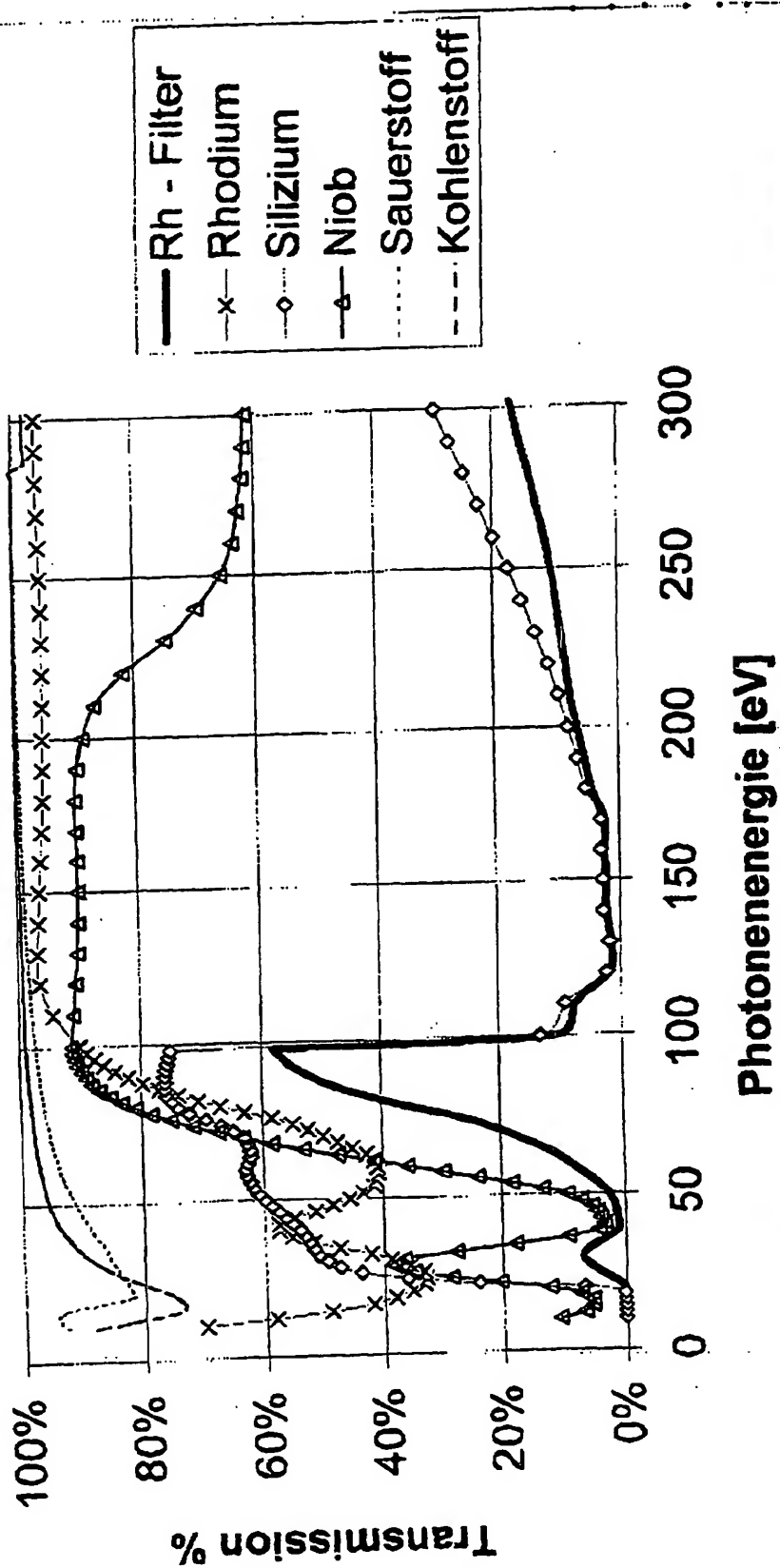


Fig. 1d

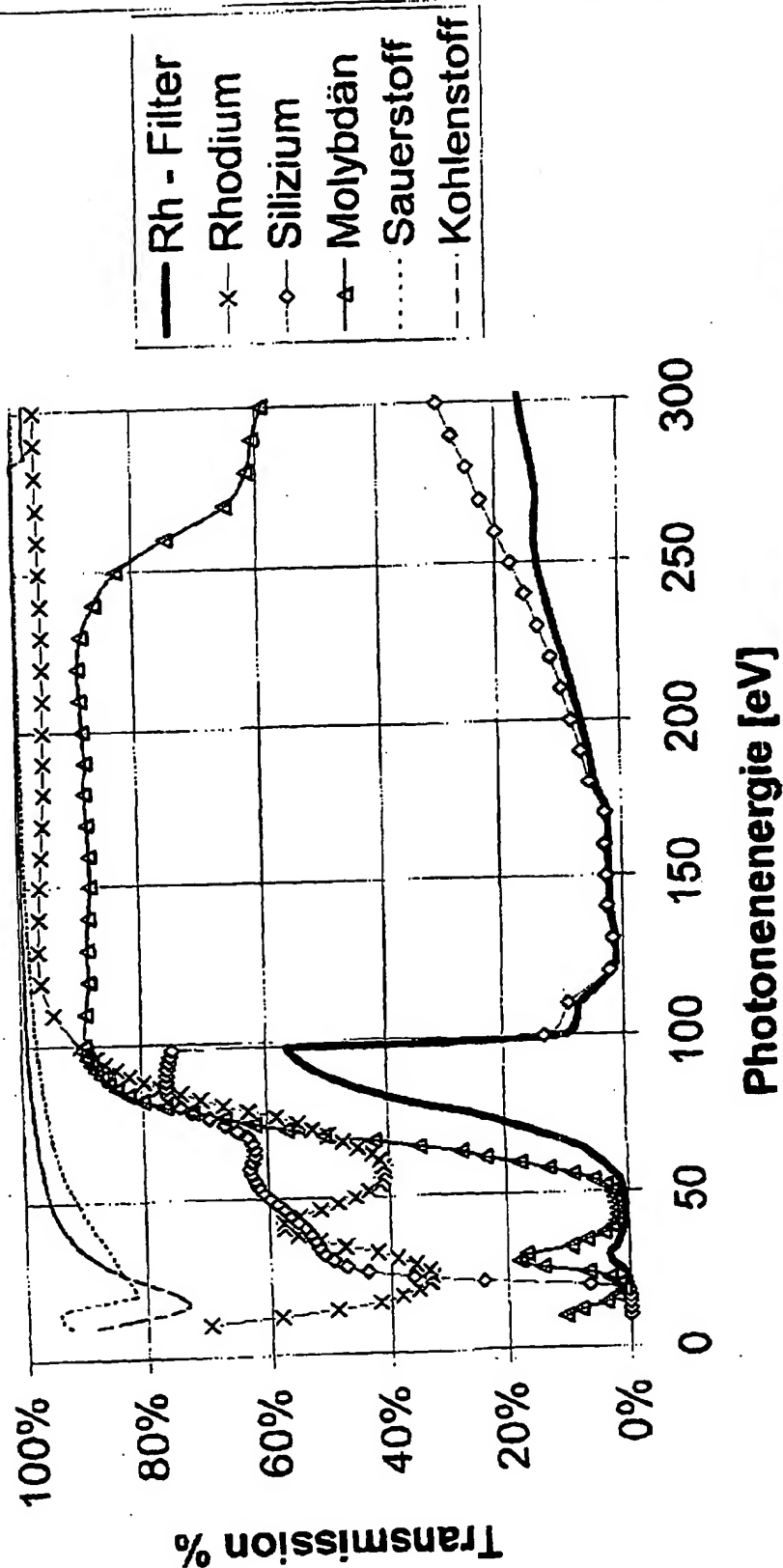


Fig. 2a

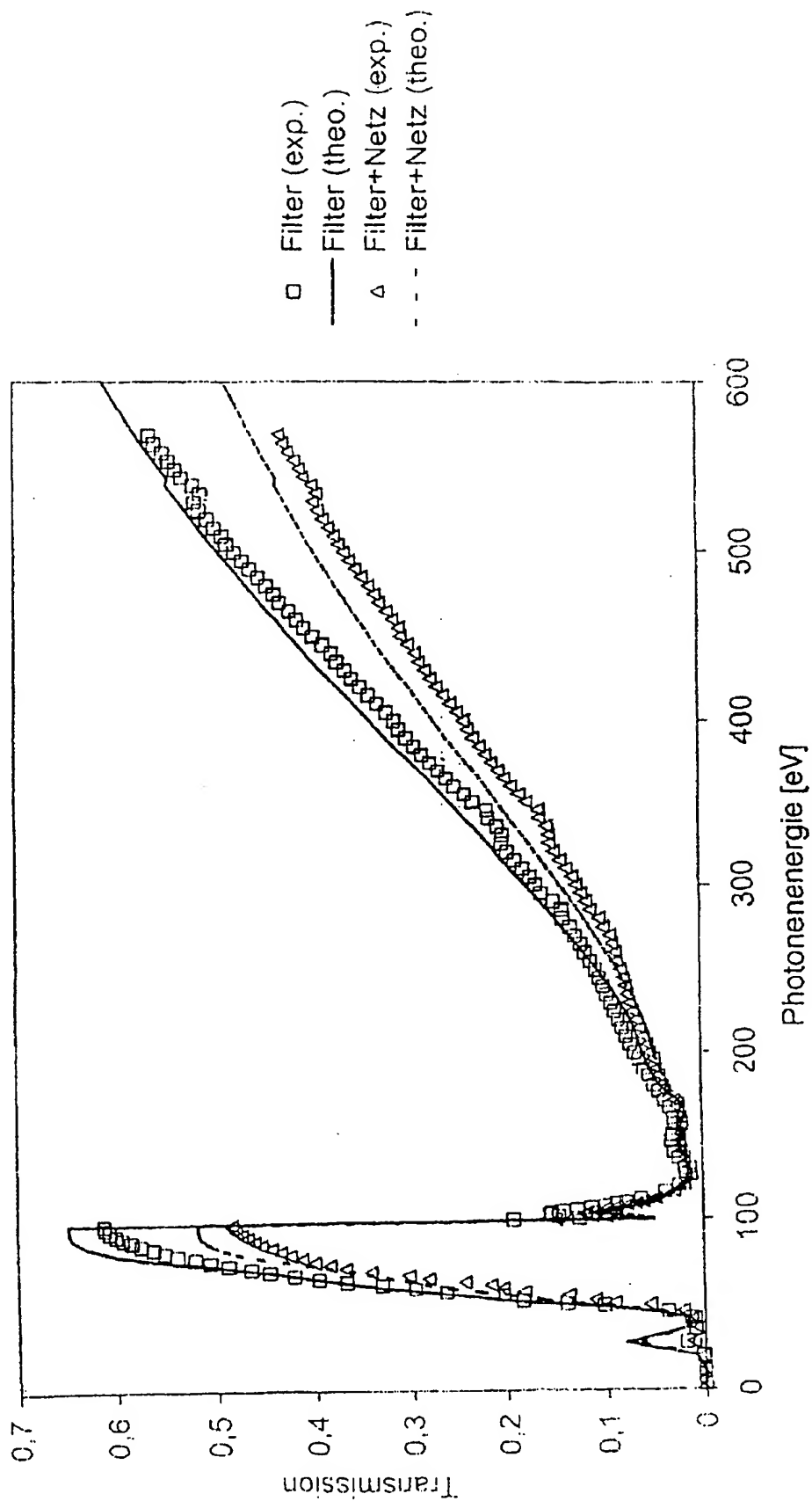


Fig. 2b

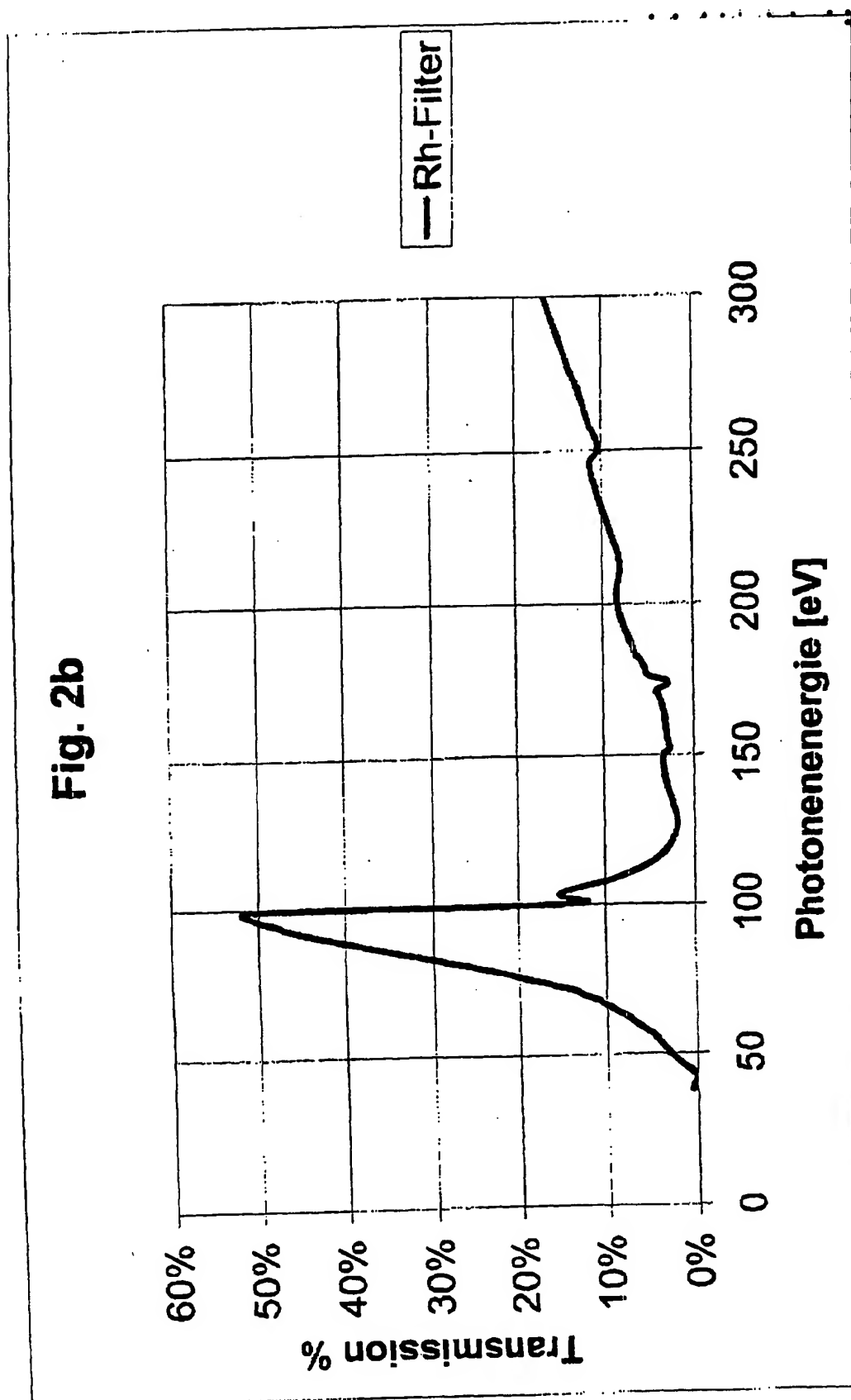


Fig. 3a

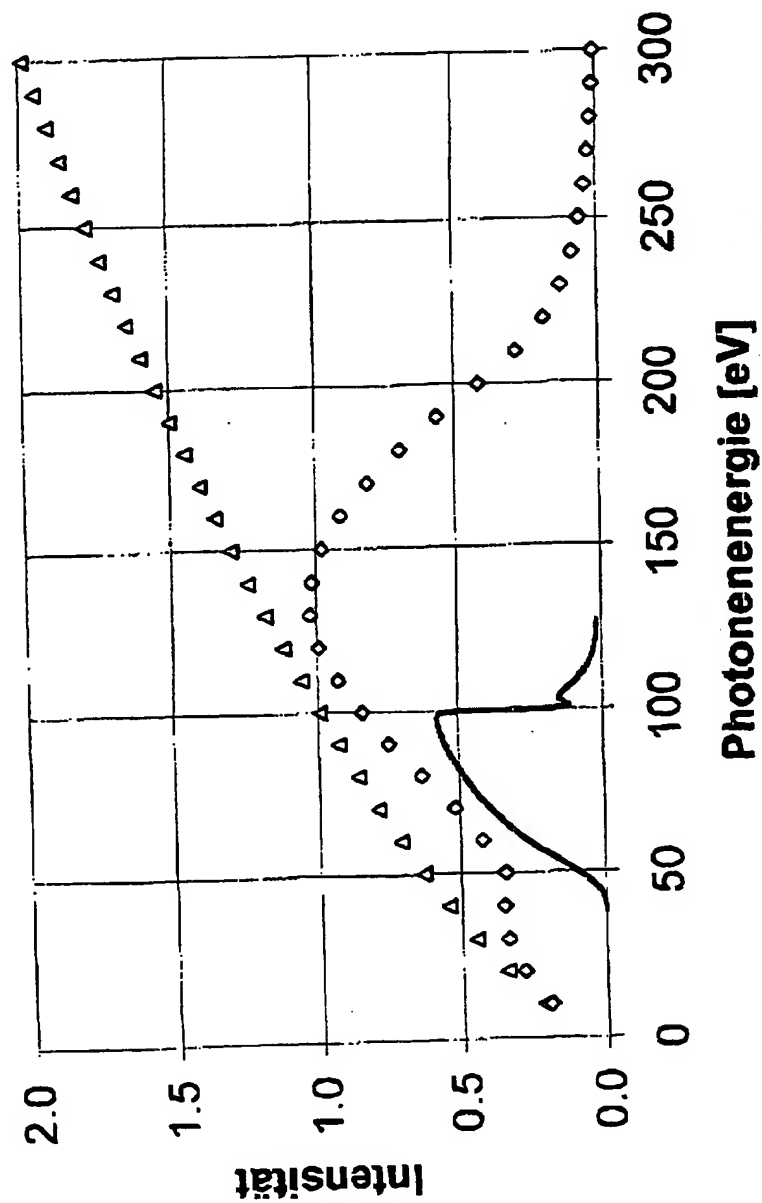


Fig. 3b

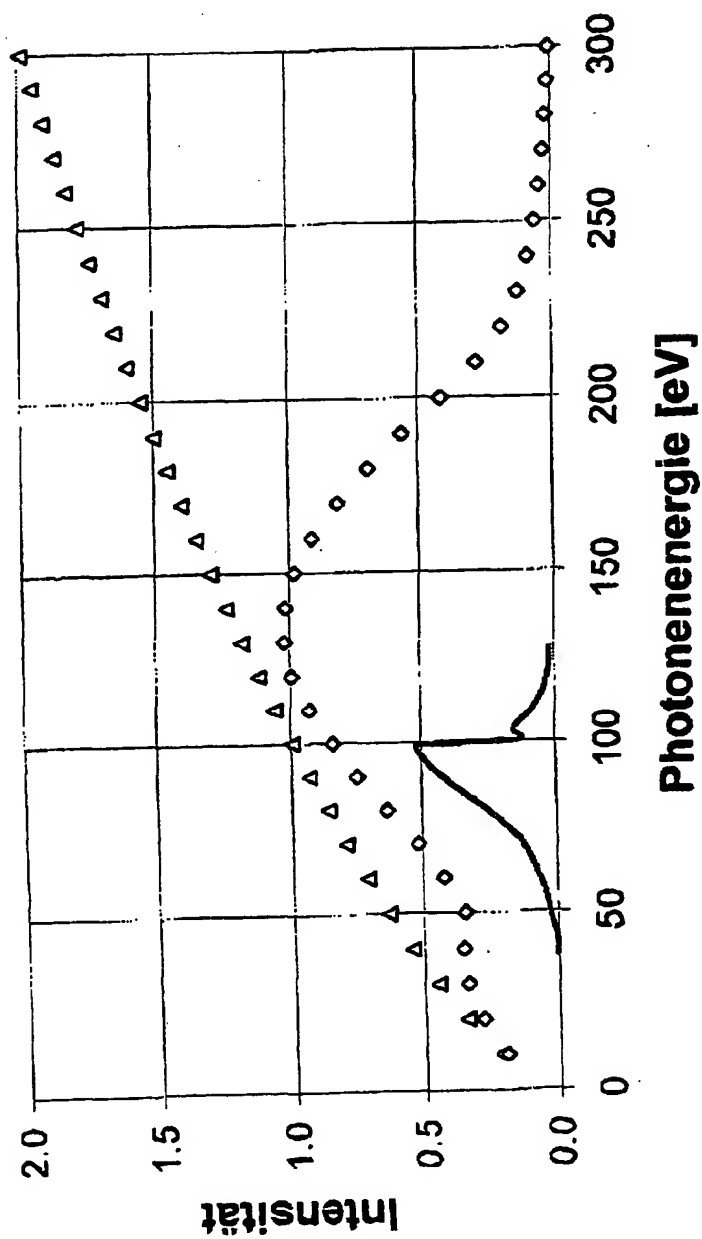


Fig. 4a

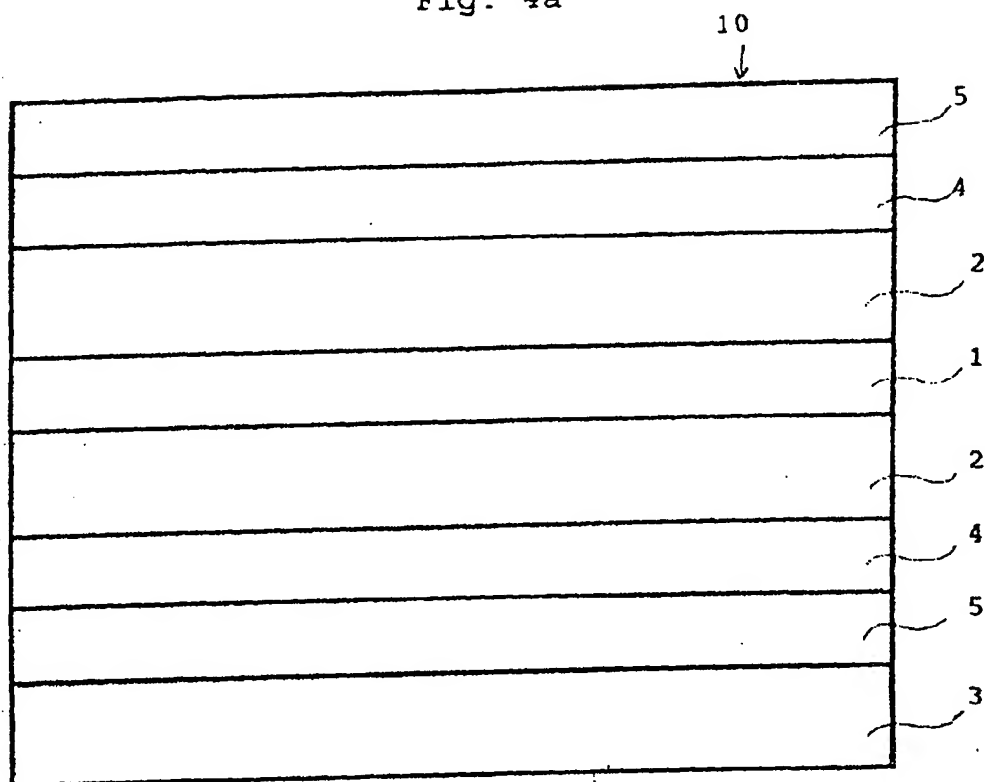


Fig. 4b

